

Институт геологии – обособленное подразделение
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра
«Карельский научный центр Российской академии наук»

Важнейшие результаты завершенных фундаментальных исследований за 2022 год

по программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на
долгосрочный период (2021 - 2030 годы), утв. Расп. № 3684-р 31.12.2020

1.5.2.1. Эволюция Земли в процессе ее геологической истории; ранняя история Земли

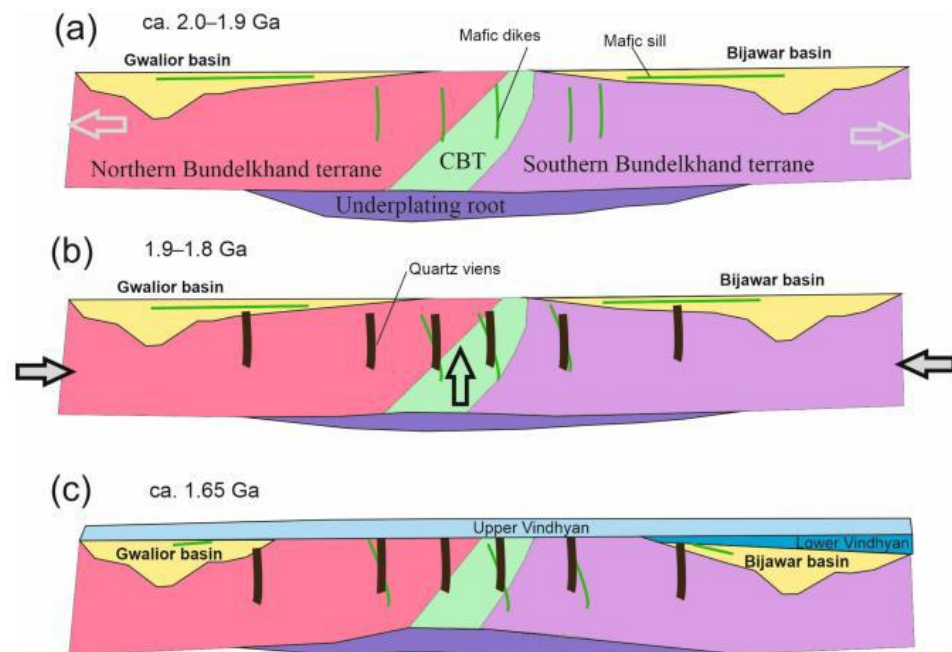
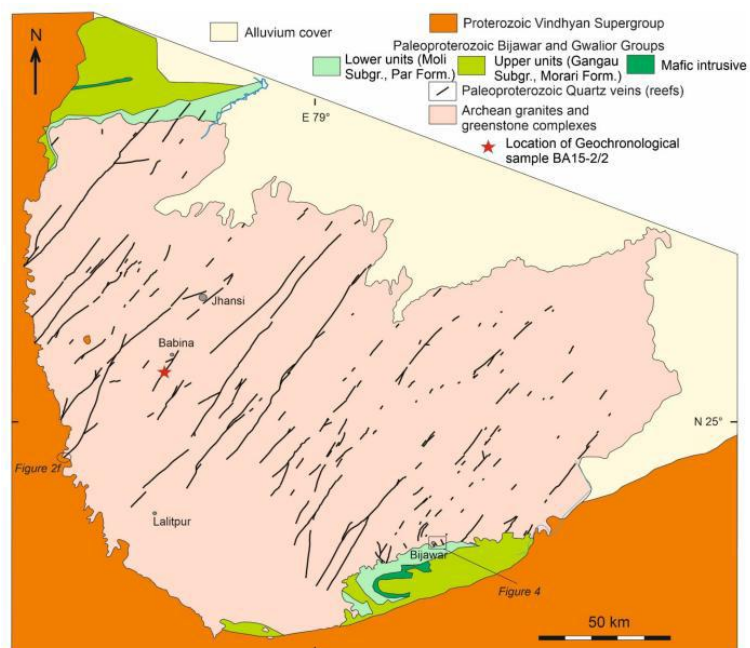
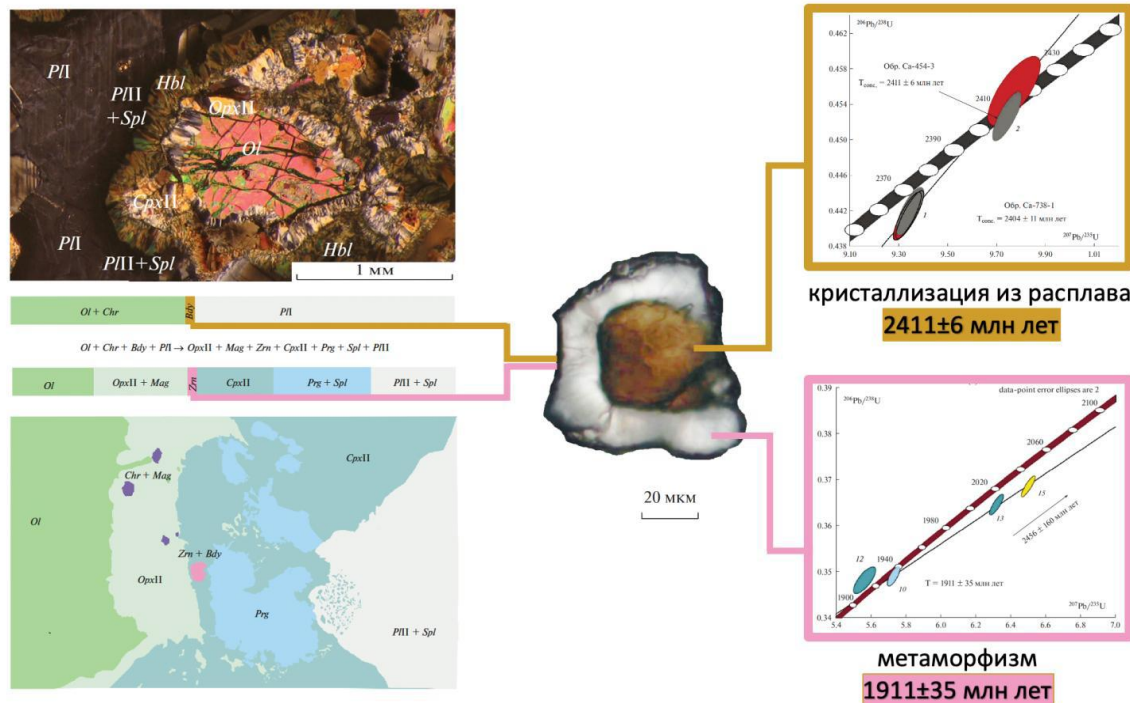


Схема геологического строения роя гигантских кварцевых жил Бунделкхандского кратона (Индийский щит) (a) и геодинамическая модель их формирования (b). На врезке показано местоположение Бунделкхандского кратона (черные поля – протерозойские бассейны).

Впервые, по результатам геологического картирования и U-Th-Pb геохронологического изучения цирконов, установлено, что формирование роя гигантских кварцевых жил Бунделкхандского кратона Индийского щита происходило в палеопротерозое (1866 ± 12 млн лет) в краевой части суперконтинента Колумбия, где его литосфера находилась под воздействием коллизионных процессов с одной стороны и мощного мантийного плюма – с другой.



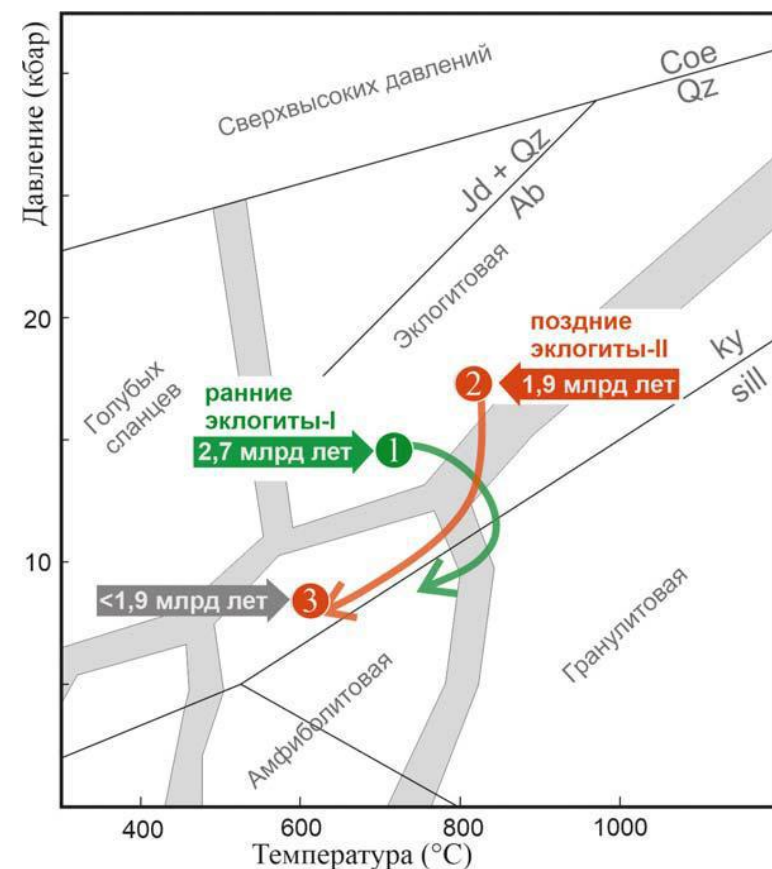
Slabunov A.I., Singh V.K. Giant Quartz Veins of the Bundelkhand Craton, Indian Shield: New Geological Data and U-Th-Pb Age (2022) Minerals, 12 (2), art. no. 168. DOI: 10.3390/min12020168



Сальникова Е.Б., Степанова А.В., Азимов П.Я., Суханова М.А., Котов А.Б., Егорова С.В., Плоткина Ю.В., Толмачева Е.В., Кервинен А.В., Родионов Н.В., Степанов В.С. История формирования коронитовых метагабброноритов Беломорской провинции Фенноскандинавского щита: результаты U-Pb (CA-ID-TIMS) датирования циркон-бадделеитовых агрегатов // Петрология. 2022. Т. 30. № 6. С. 596-622. DOI: 10.31857/S0869590322060061

Результаты изучения бадделеит-цирконовых агрегатов из коронитовых оливиновых габброноритов («друзитов») Амбарнского массива. (а) микрофотография коронарной структуры вокруг оливина (шлиф, николи X), (б) модель формирования коронарных структур на границе оливин-плагиоклаз в результате метаморфической реакции и положение бадделеит-цирконовых агрегатов в ней; (в) внутреннее строение бадделеит-цирконового агрегата, (г) диаграмма с конкордией для единичных зерен бадделеита Амбарнского массива (ID-TIMS), (е) диаграмма с конкордией для оболочек циркона (ID-TIMS).

Впервые благодаря внедрению метода дискретной химической абразии при U-Pb (ID-TIMS) геохронологическом изучении бадделеит-цирконовых агрегатов и комплексным геохронологическим, петрологическим и геохимическим исследованиям расшифрована история формирования коронарных структур в габброноритах Беломорской провинции. Доказано, что формирование оболочек циркона (1911 ± 35 млн лет) в бадделеит-цирконовых агрегатах происходило синхронно с ростом коронарных структур в породах в результате метаморфизма пород в условиях гранулитовой фации в ходе лапландско-кольской орогении через 500 млн лет после кристаллизации пород (2411 ± 6 млн лет).



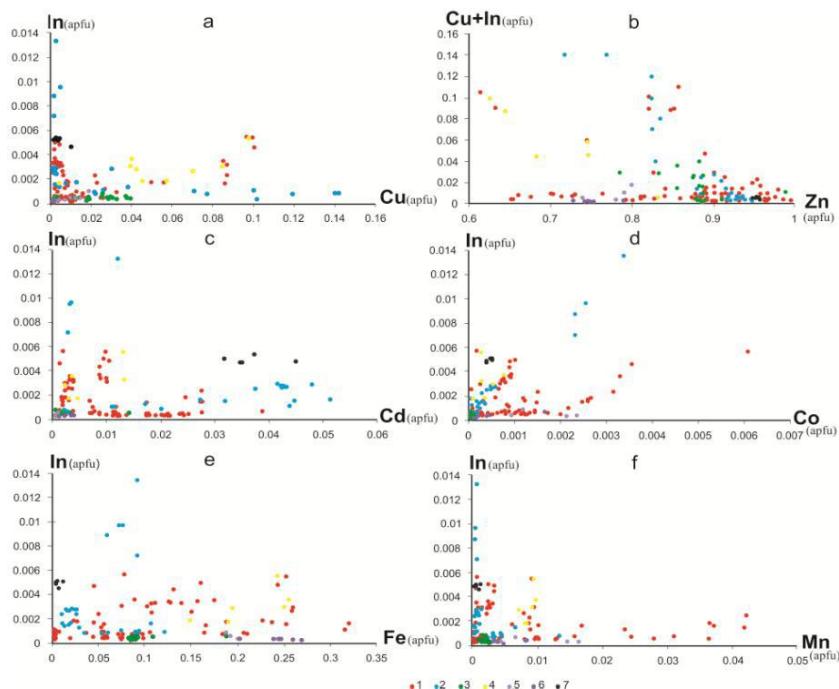
P-T метаморфические тренды преобразования эклогитов Гридинского комплекса на P-T диаграмме

В результате петрологического и геохронологического изучения эклогитов Гридинского комплекса Беломорской провинции выделены и обоснованы неоархейский и палеопротерозойский P-T-t тренды метаморфической эволюции с последовательными переходами от эклогитовой фации к гранулитовой и амфиболитовой. Пиковые условия метаморфизма на неоархейском (2.7 млрд лет) и палеопротерозойском (1.9 млрд лет) этапах метаморфизма отвечали эклогитовой фации, что фиксируется гранат-омфацитовыми минеральными парагенезисами и возрастом метаморфогенных цирконов с включениями омфацита и граната.

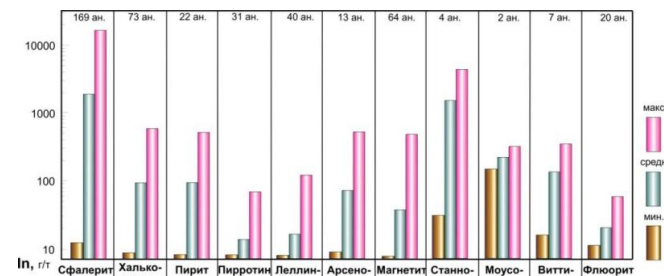


Максимов О.А., Балаганский В.В., Слабунов А.И., Ларионов А.Н. Два этапа высокобарного метаморфизма в раннедокембрийских эклогитах (район Гридино Беломорской провинции Фенноскандинавского щита): петрология и геохронология // Петрология. 2022. Т. 30. № 2. С. 140-165.
DOI: 10.31857/S0869590322020042

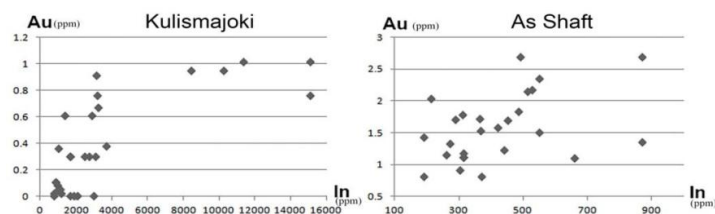
1.5.5.2. Металлогенические провинции, эпохи и рудные месторождения: от генетических моделей к прогнозу минеральных ресурсов



Бинарные диаграммы, показывающие корреляцию In с Cu, Zn, Cd, Co, Fe and Mn, в сфалеритах Питкярантского рудного района; значения элементов – в формульных единицах. 1–7 – месторождения и рудники: 1 – Кителя, 2 – Кулисмайоки, 3 – Мышьяковая Шахта, 4 – Люпикко, 5 – Герберц-1, 6 – Герберц-2, 7 – Автодор



Содержание индия в рудных минералах Питкярантских месторождений (LA-ICP-MS анализ)



Бинарные диаграммы, показывающие корреляцию In-Au в сфалеритах Кулисмайокского проявления и рудника Мышьяковая Шахта; значения Au и In – в г/т



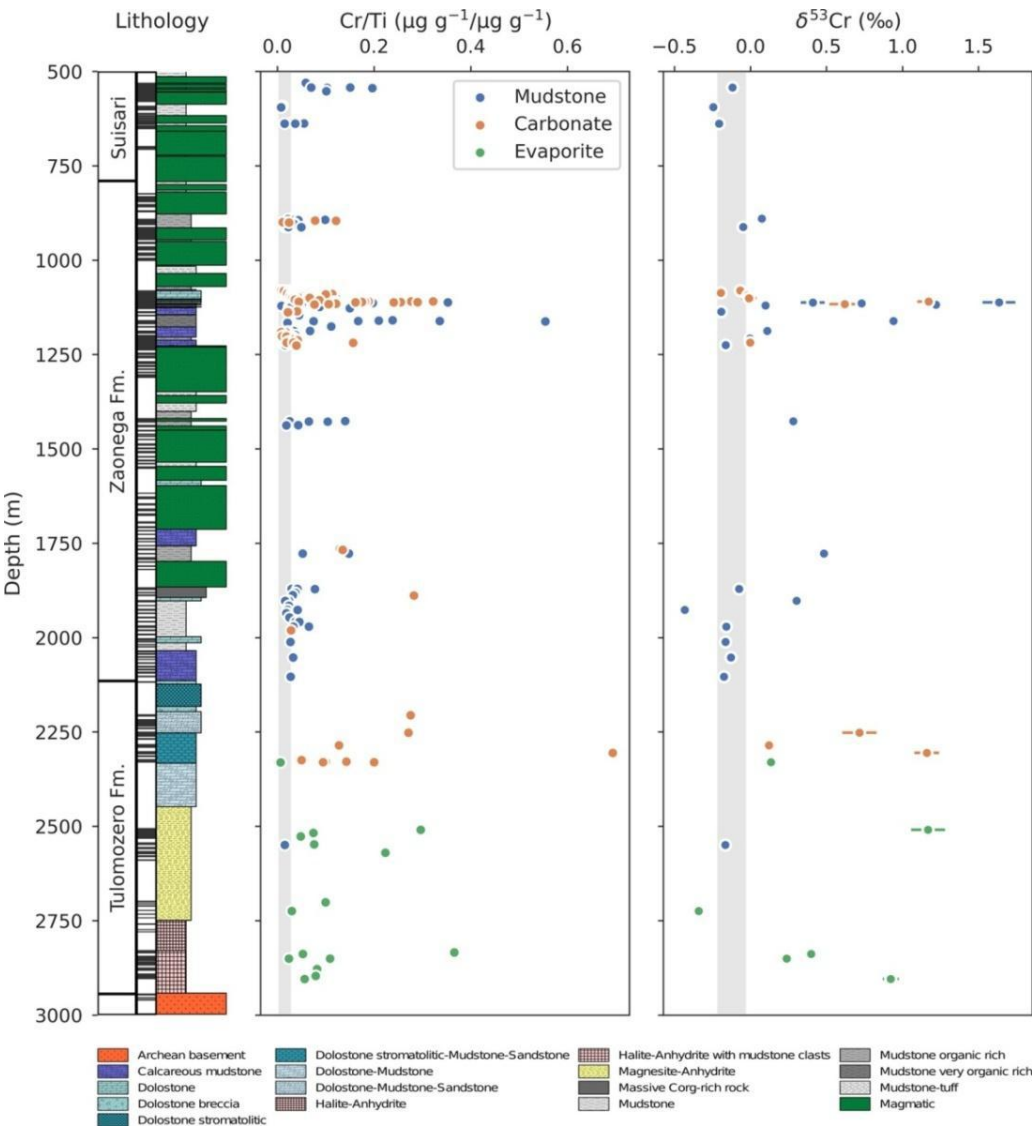
Ivashchenko V.I. Geology, geochemistry and mineralogy of indium resources at Pitkäranta Mining District, Ladoga Karelia, Russia // *Journal of Geochemical Exploration* 240 (2022) 107046. DOI: 10.1016/j.gexplo.2022.107046
Ivashchenko V.I. Indium Distribution in Sphalerites from Pitkäranta Mining District (South Karelia, Russia) // *Geology of Ore Deposits*, 2022, Vol. 64, No. 8, pp. 1–13. DOI: 10.1134/S1075701522080074

Установлены главные особенности распределения In в рудах и минералах скарновых месторождений Питкярантского рудного района, определяющиеся преимущественно его изоморфным вхождением ($\text{Cu}+1 \text{ In}+3 \leftrightarrow \text{Zn}+2, \text{ Fe}+2$) в структуру сфалерита. Параметры «indiumwindow», способствующие изоморфизму составляют 0,6-1,2% и 3,5-5% Cd. Индий влиял на изоморфизм золота в сфалерите по схеме $\text{Au}+ + \text{In}+3 \leftrightarrow 2 \text{ Zn}+2$. Наиболее высокие средние содержания In в руде (~500 г/т) и в сфалерите (~3200 г/т) характерны для пропилитизированных скарнов с Fe-Zn-Sn оруденением. Сфалерит с максимальными концентрациями In (1,5%) имеет невысокие содержания Fe (3-6%), Mn (0.03-0.04%) и повышенные Co (0.1-0.2). Прогнозные ресурсы индия в полиметаллических рудах Питкярантских месторождений составляют 1741-2632 т, кадмия - 18424 т, серебра - 226 т, золота - 2 т.

1.5.2.2. Литология; палеонтология, стратиграфия и геологическая корреляция

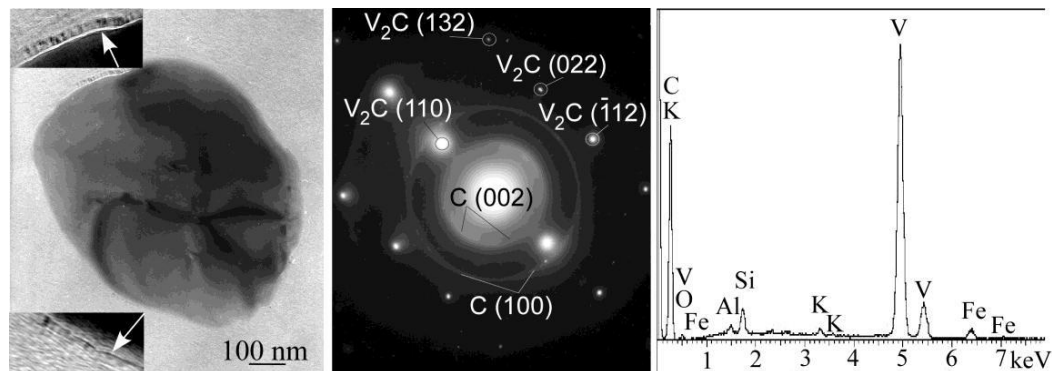
Впервые для Онежской палеопротерозойской структуры проведено изучение изотопного состава хрома в осадочных породах. Вариации $\delta^{53}\text{Cr}$ в разрезе показывают, что содержания кислорода в атмосфере в интервале 2.1-2.0 млрд лет назад было достаточным для появления эукариотных организмов. Более позднее (около 1.7 млрд лет) появление эукариот может быть обусловлено не недостатком или резкими изменениями концентраций кислорода в палеопротерозойской атмосфере Земли, а вариациями других экологических параметров или фактором времени (необходимостью более длительной эволюции).

Mänd K., Planavsky N.J., Porter S.M., Robbins L.J., Wang Ch., Kreitsmann T., Paiste K., Paiste P., **Romashkin A.E., Deines Yu.E.**, Kirsimäe K., Lepland A., Konhauser K.O. Chromium evidence for protracted oxygenation during the Paleoproterozoic // *Earth and Planetary Science Letters* 584 (2022) 117501
DOI: 10.1016/j.epsl.2022.117501

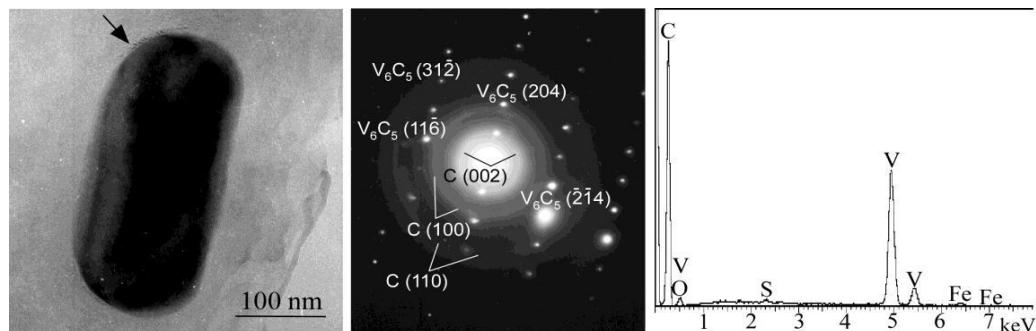


Вариации содержаний аутигенного хрома (Cr/Ti) и его изотопного состава ($\delta^{53}\text{Cr}$) в разрезе Онежской параметрической скважины. Цвет точек соответствует аргиллитам (синий), карбонатам (коричневый) и эвапоритам (зеленый). Вертикальные серые полосы показывают средние значения этих параметров в земной коре (Cole et al., 2017 и Schoenberg et al., 2008).

ИГ КарНЦ РАН, лаборатория геологии и технологии шунгитов
Совместно с Университетом Алберта, Эдмонтон, Канада;
Университетом Тарту, Эстония; Йельским университетом, США;
Геологической службой Норвегии



a



б

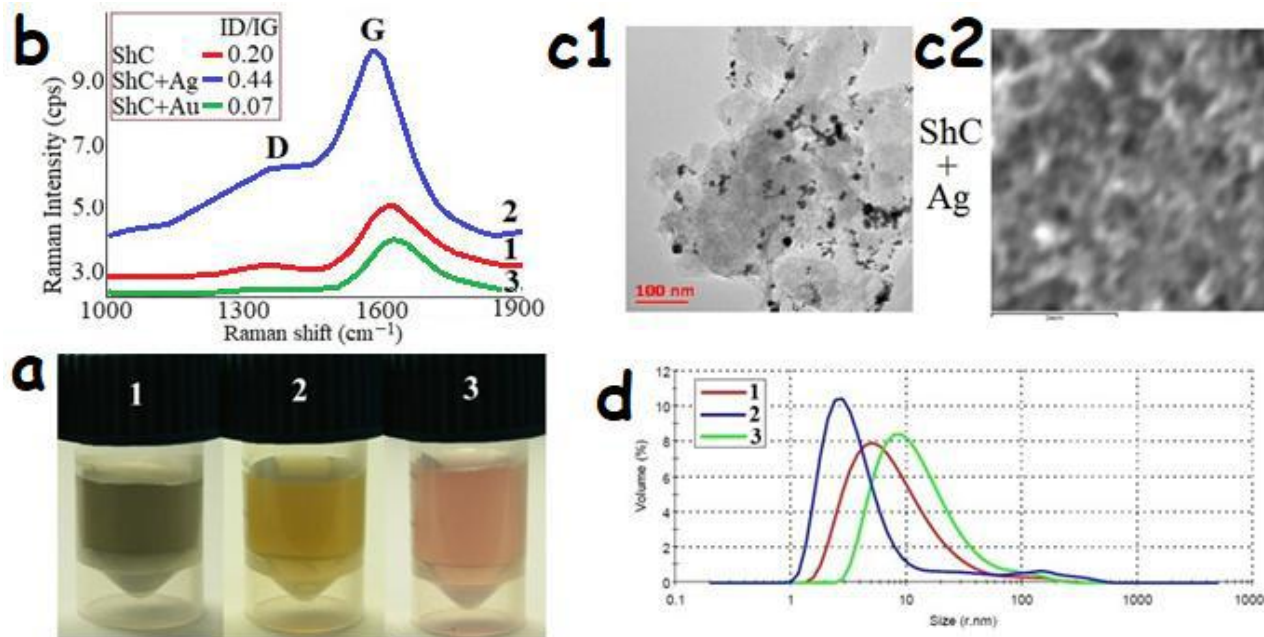
Электронномикроскопические изображения, электронограммы и энергодисперсионные спектры монокристаллов карбидов ванадия в шунгите: (а) V_2C (ICDD – 01-071-1258) и (б) V_6C_5 (ICDD – 01-080-2287). Упорядоченная углеродная пленка на поверхности минералов отмечена стрелками.

Kovalevski V.V., Moshnikov I.A. Vanadium carbides in shungite (2022) European Journal of Mineralogy, 34 (1), pp. 131–141. DOI: 10.5194/ejm-34-131-2022



Впервые идентифицированы природные карбиды ванадия, аналогичные искусственно синтезированному V_2C и V_6C_5 . Микро- и наноразмерные монокристаллы карбидов ванадия инкапсулированы в углеродные оболочки, что может быть связано с воздействием базальтовой магмы на материнское углеродистое вещество. Появление подобных частиц не могло происходить в присутствии воды и свидетельствует об их образовании в углеродистом веществе до его поступления в бассейн осадконакопления и формирования шунгитовой породы. Также обнаружены ассоциации карбида ванадия и роскоэлита, возникшие при разрушении углеродных оболочек и разложении карбидов ванадия при последующих метаморфических преобразованиях шунгитовых пород.

1.4.2.1. Фундаментальные основы получения новых металлических, керамических и углеродсодержащих композиционных материалов

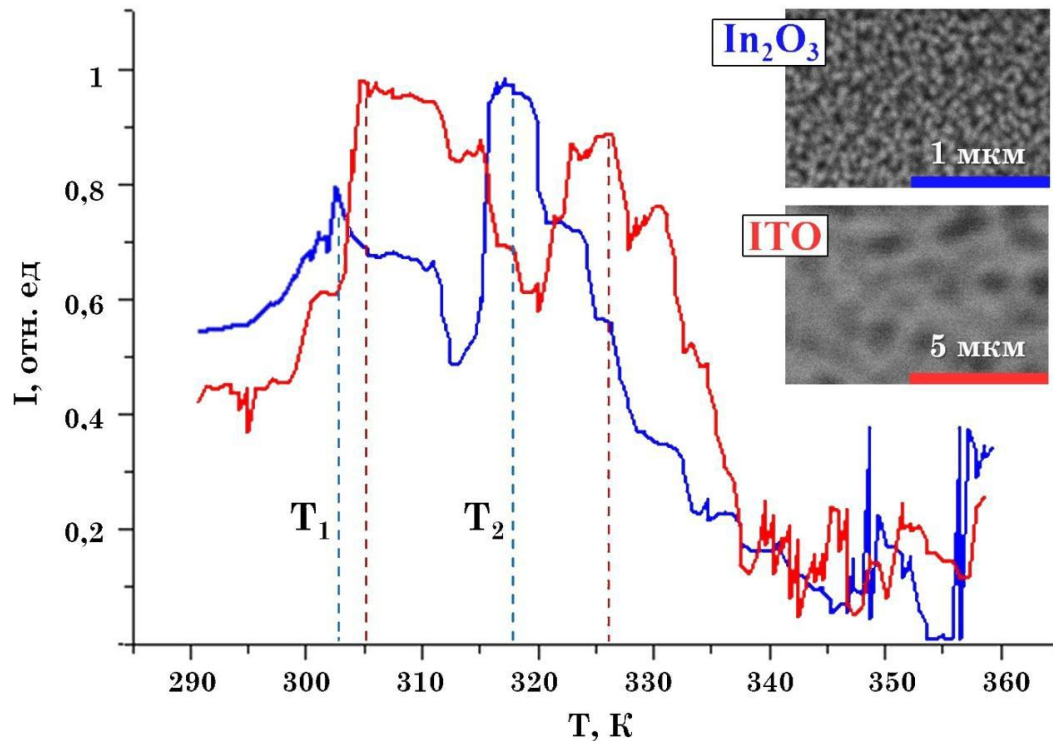


Rozhkova N., Kovalchuk A., Goryunov A., Borisova A., Osipov A., Kucherik A., Rozhkov S. Thin Film Coatings from Aqueous Dispersion of Graphene-Based Nanocarbon and Its Hybrids with Metal Nanoparticles // Coatings. 2022. V 12(5). P. 600. DOI: 10.3390/coatings12050600

Дисперсии наночастиц шунгитового углерода ShC (1) и гибридных наночастиц ShCAg (2), ShCAu (3), полученных под действием наносекундного лазера (а); спектры КРС дисперсий 1, 2, 3 и изменение упорядоченности графеноподобного углерода ID/IG (b); ПЭМ и СЭМ пленок гибридных наночастиц ShCAg - (c1) и (c2), соответственно; изменение распределения наночастиц по размерам при образовании гибридов (d).

Впервые под воздействием лазерных импульсов различной длительности (непрерывные, нано- и фемто-секундные) на наночастицы графеноподобного шунгитового углерода (ShC) в присутствии металлов (Ag и Au) в воде получены однородные и стабильные дисперсии гибридных наночастиц ShCAg, ShCAu. Методами спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС) и поглощения в УФ-видимой области в таких системах зарегистрированы необратимые структурные изменения ShC на наноуровне. Из водных дисперсий таких систем сформированы тонкие пленки. По результатам просвечивающей электронной микроскопии, необратимые структурные изменения ShC в этих пленках сохранились. Композиции квантовых точек и биоактивных соединений (ShC и благородные металлы) представляют интерес для таких биомедицинских приложений, как тераностика рака и доставка лекарств.

1.4.2. Научные основы создания новых материалов с заданными свойствами и функциями, в том числе высокочистых и наноматериалов



Температурные зависимости нормированной величины мощности сигнала СВЧ-поглощения пленок шунгитового углерода на подложках с In_2O_3 - и ITO-покрытиями. Вставка: СЭМ-изображения пленок на подложках с In_2O_3 - и ITO-покрытиями.

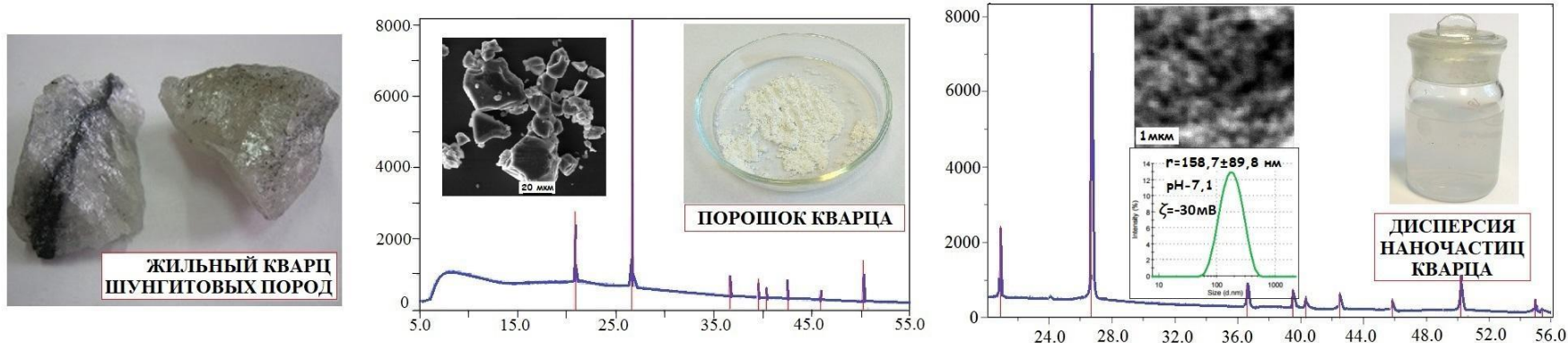
Впервые показано, что тонкие пленки природного графеноподобного углерода перспективны в качестве газовых сенсоров. На пленках шунгитового углерода на подложках с In_2O_3 - и ITO-контактами, в интервалах температур 290-360 К и частот мощности СВЧ поглощения 0,6-1,2 ГГц выявлен эффект, связанный с десорбцией кислорода, находящегося между глобулярными частицами в пленке (T1) и на искаженных графеновых плоскостях глобулярных частиц (T2). Установлена корреляция между размером наночастиц в пленках на In_2O_3 - и ITO-покрытиях и температурой десорбции: чем меньше размер частиц, тем ниже температура десорбции.



Kovalchuk A.A. Structure and oxygen-sensitive properties of thin films of natural carbon // Journal of Physics: Conference Series. 2022. V. 2316. N 1. P.012014. DOI:10.1088/1742-6596/2316/1/012014

Kovalchuk A.A., Rozhkova N.N., Prikhodko A.V. Oxygen desorption by graphene-based carbon films obtained through sublimation // Current Nanoscience. Published on: 28 June, 2022. Volume 19, Issue 1. 2023. pp.82-89. DOI: 10.2174/1573413718666220428115303

1.4.2. Научные основы создания новых материалов с заданными свойствами и функциями, в том числе высокочистых и наноматериалов

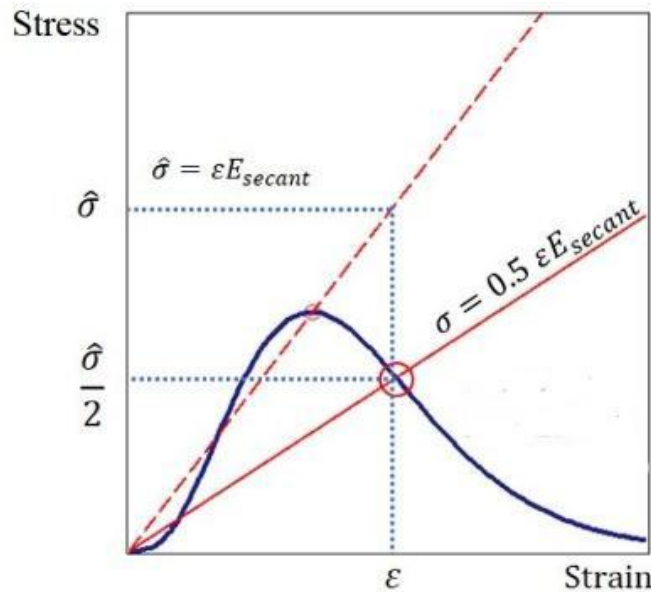
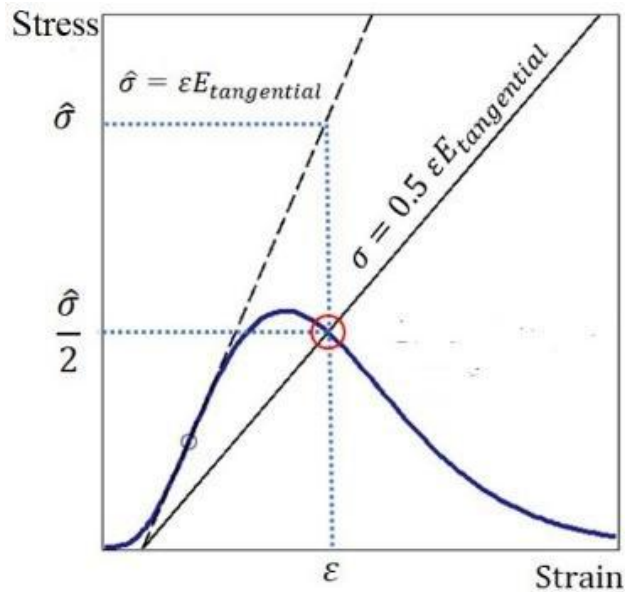


Образцы жильного кварца шунгитовых пород; СЭМ изображение и рентгенограмма частиц порошка; водная дисперсия наночастиц кварца, распределение наночастиц по размерам (ДРС); СЭМ изображение пленки, полученной при конденсации дисперсии на стекле и рентгенограмма материала пленки.

Впервые предложен экологически безопасный и технологически простой способ получения наноразмерных частиц α -кварца из жильного кварца шунгитовых пород - нетрадиционного для кварца минерального сырья. Наночастицы кварца характеризуются удельной поверхностью 80-120 м²/г соизмеримой с поверхностью углерода шунгитовых пород. В процессе переработки жильного кварца шунгитовых пород получены коллоидно устойчивые водные дисперсии наночастиц кварца (дзета потенциал – -30 мВ). Средний размер наночастиц кварца в дисперсии оставляет ~100 нм, рН -7.0. Преимуществом полученных наночастиц перед наночастицами из другого кварцевого сырья является их стабилизация в воде без использования ПАВ или агрессивных добавок. Дисперсия наночастиц представляет интерес для биомедицинских применений, в материаловедении и оптике.



Патент 2778691 РФ. Наноразмерный кварц и способ его получения / Рожкова Н.Н., Ригаева Ю.Л., Рожков С.С., Ковальчук А.А. 23.08.2022.



Критерий разрушения. Вертикальная ось – напряжение (σ), горизонтальная ось – деформация (ϵ)

Слева – с использованием тангенциального модуля упругости, справа – с использованием секущего модуля упругости

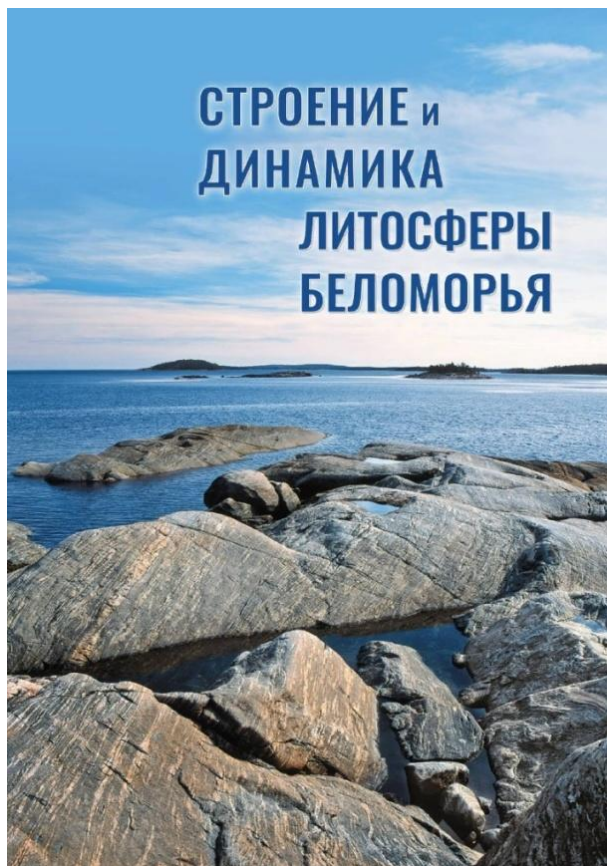
Обоснован критерий разрушения горных пород и им подобных материалов с использованием соотношения для входной энергии $W = W_e + W_d$ к математическому моделированию механических систем. Критерий не требует интегрирования для вычисления энергии деформации W_e и энергии диссипации W_d и представлен в виде уравнений, ориентированных на применение в инженерных расчетах. Установлено, что точка прогнозируемого разрушения (критерий дифференциальной прочности) определяется равенством $\sigma = 0,5 \epsilon * E_{\text{tangential}}$ (с использованием тангенциального модуля упругости $E_{\text{tangential}}$ при наличии точки перегиба на восходящей ветви) или $\sigma = 0,5 \epsilon * E_{\text{secant}}$ (с использованием секущего модуля упругости E_{secant} при отсутствии точки перегиба).



materials



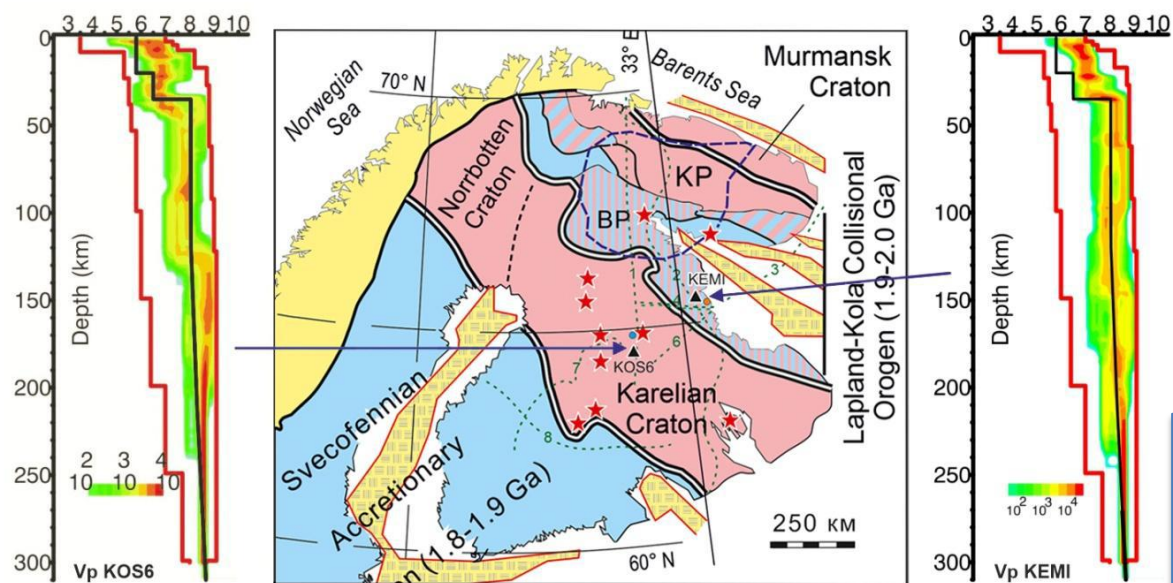
Kolesnikov, G., **Shekov, V.** Energy Criterion for Fracture of Rocks and Rock-like Materials on the Descending Branch of the Load–Displacement Curve. *Materials* 2022, 15, 7907. DOI: 10.3390/ma15227907



Выполнено обобщение современных представлений о глубинном строении земной коры акватории Белого моря и прилегающих территорий. Проведена комплексная интерпретация геологических и геофизических данных исследуемого региона. Рассчитаны 2D и 3D геофизические модели, на основе которых выявлены сейсмоплотностные и магнитные неоднородности земной коры. На основе полученных данных составлена модель тектонической эволюции бассейна Белого моря. Приведен анализ результатов инструментальных сейсмологических наблюдений, сейсмичности, и других проявлений современной геодинамики в регионе.

Асминг В.Э., Афонин Н.Ю., **Бакунович Л.И.**, Балуев А.С., **Белашев Б.З.**, Бугаенко И.В., Ваганова Н.В., Виноградов А.Н., Данилов К.Б., Журавлев В.А., Заец Л.Н., Колодяжный С.Ю., Кузнецов Н.Б., Морозов А.Н., Николаева С.Б., **Нилов М.Ю.**, Романюк Т.В., Терехов Е.Н., Федоров А.В., Цветкова Т.А., **Шаров Н.В.**, Шварев С.В., Яковлев Е.Ю.
Строение и динамика литосферы Беломорья / отв.ред.: Шаров Н.В. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2022. 239 с. ISBN 978-5-9274-0914-3
DOI: 10.17076/lithows2022

1.5.1.1. Геофизические методы изучения строения, вещественного состава земных недр и глубинных процессов; взаимодействие геосфер



Расположение скоростных 1D моделей в центральной части Карельского кратона (KOS6) и западной части Беломорского подвижного пояса (KEMI)



Meshcheryakova A.A., Slabunov A.I., Vaganova N.V., Rychanchik M.D. Architecture of the subcontinental lithospheric mantle of the Archean segment of the Fennoscandian Shield: Analysis of seismic data // Tectonophysics. 2022. Vol. 841.229541. DOI: 10.1016/j.tecto.2022.229541

Получены новые скоростные 1D модели континентальной литосферы Карельского кратона (КК) и Беломорского подвижного пояса (БПП) Фенноскандинавского щита на основе метода приемных функций. Установлено, что мощность субконтинентальной литосферной мантии (SCLM) как в центральной части КК, так в западной части БПП составляет более 200 км. SCLM в обеих структурах имеет контрастную верхнюю границу с земной корой и неясную с астеносферой. По скоростным параметрам установлена стратификация SCLM, выделены верхний, средний и нижний слои. Граница между верхним и средним слоем близка к глубине появления в мантийных перидотитах граната, а между средним и нижним – к линии равновесия графит/алмаз. Итоговая 1D модель для КК согласуется с данными о строении SCLM, базирующихся на изучении мантийных ксенолитов и ксенокристов данного района.